Arnaldoa 22 (2): 367 - 380, 2015

ISSN: 1815-8242 (edición impresa)
ISSN: 2413-3299 (online edition)

Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre las características fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas en la pulpa de "chirimoya" *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae)

Effect of exposition time to ultrasound on physicochemical, rheological, and microbiological characteristics of "chirimoya" *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) pulp


Fernando Rodríguez Avalos
Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú
frodrigueza@upao.edu.pe

Fredy Romel Pérez Azahuanche
Departamento de Ciencias, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú
fpereza@upao.edu.pe

Madleen Joycie Obregón Arquiño, Gabriela Barraza, Jáuregui, Modesto Vega Tang & Ana Cecilia Ferradas Horna
Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú
gbarrazaj@upao.edu.pe/ mvegac@upao.edu.pe/ aferradash@upao.edu.pe

Recibido: 05 - 09 - 2015, aceptado 15 - 10 -2015; publicado diciembre 2015

Resumen

El ultrasonido se ha convertido en una tecnología emergente, no destructiva, con múltiples aplicaciones, entre otras, en procesos alimentarios. El objetivo de esta investigación fue determina el efecto del tiempo de exposición (15, 30, 45 y 60 min) al ultrasonido de 40 kHz, sobre las propiedades fisicoquímicas (contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH), reológicas (viscosidad aparente, esfuerzo inicial al torque, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia) y microbiológicas (mesófilos viables, mohos y levaduras) en la pulpa de "chirimoya" *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae). Los valores del contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH fueron 24,800 – 25,100 y 25,000 – 26,425 °B, 0,317 – 0,352 y 0,312 – 0,337% ácido málico y 4,33 – 446 y 4,33 – 4,38, respectivamente. El valor promedio del índice de comportamiento reológico disminuyó de 0,635 a 0,535, para la pulpa no expuesta y la expuesta al ultrasonido; ambos valores indicaron que se trataba de un fluido pseudoplástico. A los 45 min de exposición al ultrasonido, la carga microbiana de 2000, 90 y 100 ufc/g de mesófilos viables, hongos y levaduras, respectivamente, fueron eliminados en su totalidad. El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de exposición al ultrasonido sobre las características estudiadas. La prueba de Tuckey (95% de confiabilidad) indicó que el mejor tratamiento fue a los 45, 30 y 15 min, para el contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH, respectivamente; en tanto que a los 15, 30, 30 y 15 min, para la viscosidad aparente, esfuerzo inicial al torque, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia, respectivamente; así como también, 45 min, para el recuento de mesófilos viables, mohos y levaduras.

Palabras clave: Pulpa de "chirimoya", efecto del ultrasonido, fluido pseudoplástico, reología de pulpas.

Abstract

Ultrasound is an emergent technology, not destructive, with several applications, among others, in food processes. The aim of this research was to determine the effect of exposition time (15, 30, 45, 60 min) to ultrasound, of 40 kHz, on the physicochemical (soluble solids content, titratable acidity, pH), rheological (apparent viscosity, torsion initial stress, rheological behavior index, consistency index), and microbiological (mesophylls viable, molds, yeasts recount) in "cherimoya" *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) pulp. The average value of soluble solids content, titratable acidity, and pH between the pulp not exposed and exposed to ultrasound were 24,80 – 25,10 °B y 25,000 – 26,425 °B, 0,337 – 0,352 y 0,312 – 0,337% malic acid, and 4,40 – 4,46 and 4,33 – 4,38, respectively. The average value of rheological behavior index changed from 0,635 to 0,573 for the pulp not exposed and exposed, respectively; both values corresponded to a pseudoplastic fluid. At 45 min of exposition to ultrasound, the microbial burden of 2000, 90, and 100 ufc/g of viable mesophylls, molds, and yeasts, respectively, were totally destroyed. The analysis of variance showed a significant effect ($p < 0,05$) of exposition time to ultrasound on the all characteristics studied. About the best treatment, Tuckey test (at 95% of reliability) gave 45, 30, and 15 min, for the soluble solids content, titratable acidity, and pH, respectively; 15, 30, 30, and 15 min, for apparent viscosity, initial torsion stress, rheological behavior index, and consistency index; as well as, 45 min for viable mesophylls, molds, and yeasts recount.

Keywords: "Cherimoya" pulp, ultrasound effect, pseudoplastic fluid, rheology of pulps.

Introducción

El ultrasonido se define como ondas de sonido con frecuencias que superan el límite de audición del oído humano (~ 20 kHz). El ultrasonido es una de las tecnologías emergentes que se han desarrollado para minimizar el procesamiento, maximizar la calidad y garantizar la seguridad de los

productos alimenticios. El ultrasonido se aplica para impartir efectos positivos en el procesamiento de alimentos: mejora en la transferencia de masa, conservación de alimentos, tratamientos térmicos y manipulación de la textura y el análisis de alimentos (Knorr *et al*., 2011).

De acuerdo con el rango de frecuencia, las aplicaciones de ultrasonido en el procesamiento de alimentos, el análisis y el control de calidad se dividen en baja y alta energía. Baja energía (baja potencia, baja intensidad) de ultrasonido tiene frecuencias superiores a 100 kHz e intensidades por debajo de 1 $W \bullet cm^{-2}$, que se utilizan para el análisis y la supervisión de materiales alimenticios, de una manera no invasiva durante el procesamiento y almacenamiento, para asegurar una aceptable calidad y seguridad. Ultrasonidos de baja potencia se utiliza en el control de calidad de las verduras frescas y frutas, en pre y poscosecha, granos y productos alimenticios a base de grasas emulsionadas, geles de alimentos, gaseosas y alimentos congelados. De alta energía (alta potencia, alta intensidad) de ultrasonido utiliza intensidad superior que 1 $W \bullet cm^{-2}$, frecuencia de 20 - 500 kHz, que son perjudiciales y provocan efectos en la salud física, mecánica o química/ propiedades bioquímicas de los alimentos. Estos efectos son prometedores en la elaboración de alimentos, conservación y seguridad. Esta tecnología emergente, se ha utilizado como alternativa a las operaciones de procesamiento de alimentos convencionales para el control de la microestructura y la modificación de las características texturales de los productos grasos (sonocristalization), emulsificación, antiespumante, la modificación de las propiedades funcionales de diferentes proteínas de los alimentos, la inactivación o la aceleración de la actividad enzimática para mejorar la vida útil y la calidad de productos alimenticios, la inactivación microbiana, congelación, descongelación, secado por congelación y la concentración, el secado y facilitar la extracción de los distintos alimentos y componentes bioactivos (Gallego-Juárez *et al*., 2010).

La "chirimoya" *A. cherimola* Mill. (Annonaceae) es un fruto de clima subtropical, que se desarrolla y crece bajo una temperatura media anual de 14 – 24 °C; el clima debe ser fresco, relativamente seco y con pocas fluctuaciones de temperatura; su manejo es delicado, para evitar a los daños mecánicos, físicos, causados por plagas (Fuentes & Gavilánez, 2012). La importancia del valor nutricional de la pulpa de "chirimoya" radica en su contenido de carbohidratos, fibra, proteínas, vitamina A y C, potasio, fósforo, magnesio, calcio, hierro, así como también niacina, riboflavina, tiamina, ácido fólico y antioxidantes; de ahí que se usa en la preparación de postres, mermeladas, jugos, yogur, entre otros. La "chirimoya" ayuda a controlar la diabetes, favorece el tránsito intestinal y disminuye el riesgo de formación de placas arteroscleróticas, en las arterias coronarias, causantes del infarto del miocardio en personas diabéticas (INIAP, 2009).

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tiempo de exposición al (15, 30, 45 y 60 min) ultrasonido, de 40 kHz, sobre el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable, el pH, la viscosidad aparente, el esfuerzo inicial al torque, índice de comportamiento reológico, índice de consistencia, los mesófilos viales, mohos y levaduras, en pulpa de "chirimoya" *Annona chimola* Mill. (Annonaceae).

Material y métodos

Selección de las muestras

Los frutos de "chirimoya" fueron adquiridos en estado de madurez comercial, frescas y sin deterioro físico, ni microbiológico, procedentes de la provincia de Virú, región La Libertad, Perú. Los frutos seleccionados se lavaron con agua a temperatura ambiente, con ayuda de un cepillo, para remover hongos, tierra o cualquier residuo que pudiera presentarse en su superficie, cuidando de no romperlos. Los frutos enteros se pesaron y se separó la corteza (pericarpio) y las semillas de la pulpa (mesocarpio) (Piñero 2000).

Preparación de la pulpa

La pulpa de cada fruta fue procesada en licuadora por 10 min, luego, pasada por un tamiz de cobre N.° 40, para colocarlas en cuatro frascos de vidrio de 100 mL, para las determinaciones físicoquímicas (contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pH), reológicas (viscosidad aparente, esfuerzo inicial al torque, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia) y microbiológicas (recuento de mesófilos viables, mohos y levaduras), antes y después de cada tiempo de exposición al ultrasonido.

Tratamiento con ultrasonido

Las muestras de pulpa fresca (100 mL), contenidas en frasco de vidrio, fueron sometidas, de manera independiente, a tratamientos con ultrasonido, a 40 kHz, (100% de potencia transmitida al medio), durante 15, 30, 45 y 60 min. La sonicación se realizó a través de un baño de ultrasonido, en un equipo multifrecuencia marca MRC, DC150H, potencia de disipación de 150 W, calentador de 250 W y 7.2 L. Concluido el tiempo de tratamiento, las muestras se retiraron del baño de ultrasonido y fueron analizados fisicoquímica, reológica y microbiológicamente. Todos los tratamientos de ultrasonido se realizaron por cuadriplicado.

Análisis fisicoquímicos

Se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: Sólidos solubles (°Brix), método refractómetro, según AOAC (1997), con un refractómetro portátil marca Link modelo RHB-32ATC, rango 32 – 60 °Brix, precisión ± 0.2 °Brix; acidez titulable, método volumétrico, según AOAC 942.15 (2002), con NaOH 0.1005 N (expresada en porciento de ácido málico); pH, método potenciométrico, según la norma Covenin 1315 (1979), con un pHmetro, Mettler Toledo, escala 0 – 14, sensibilidad 0,01.

Análisis reológico

Se utilizó un reómetro Brookfield modelo RVDV – III. Cada muestra sonificada fue evaluada a 25 ºC, con el husillo SC- 27 para el dispositivo de poca muestra (Andrade *et al*., 2009). La lectura de la viscosidad aparente (mPa.s) de cada muestra se realizó en forma directa y a 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 y 120 rpm, para disponer de suficientes datos que faciliten los cálculos posteriores (Mora, 2013). En la toma de datos del reómetro, se consideró la temperatura, el tiempo de espera de medición a cada rpm (1 min) y el torque entre 10 – 90%. La toma de datos fue sólo de ida. Para la caracterización reológica de cada muestra sonificada, se construyó un reograma o curva de fluidez: esfuerzo de corte (τ) en función de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) y se obtuvieron los parámetros reológicos: índice de comportamiento reológico (n), índice de consistencia (k), con el modelo matemático de Herschel Buckley o Ley de Potencia Modificada:

$$\tau = \tau 0 + (\dot{\gamma}) \qquad (1)$$

Donde, $\tau 0$ es el umbral de fluencia o

esfuerzo umbral que es la fuerza mínima requerida para iniciar el flujo y es una medida de la fuerza de la red formada por interacción entre partículas. El valor $\tau 0$ se estimó siguiendo el modelo matemático de Casson:

$$\tau 0,5 = \tau 00,5 + (\ddot{\gamma})0.5 \qquad (2)$$

Se elaboró una gráfica esfuerzo cortante ($\sqrt{\tau}$) en función de velocidad de corte ($\sqrt{\dot{\gamma}}$) y mediante regresión lineal, se encontró el valor $\sqrt{\ }\tau 0$, tal cual se aprecia en la Fig. 1.

Con el valor de $\tau 0$, se linealizó la ecuación 1 (modelo Herschel Buckley), para pasar a escala logarítmica.

$$(\tau - \tau 0) = log k + (\dot{\gamma}) \qquad (3)$$

Análisis microbiológico

El recuento de mesófilos viables se realizó con el método de siembra en superficie de Agar Patrón para Recuento – PCA (Merk), como medio. Un peso de pulpa (10 g) se homogeneizó en 90 mL de agua peptonada al 0,1%. Las placas se incubaron a 35 °C, durante 48 h. Los resultados se reportaron en ufc/g. El recuento de mohos y levaduras se realizó en Agar DRBC-AgarDiclora Rosa Bengala + Cloranfenicol, luego de una incubación a 21 °C, durante cinco días. Los resultados se reportaron en ufc/g (Artés & Allende, 2005).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se presenta el valor promedio de las características fisicoquímicas estudiadas de las pulpas de "chirimoyas", no expuestas y expuestas al ultrasonido.

Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles tuvo la tendencia de aumentar conforme aumentó el tiempo de exposición al ultrasonido. En la muestra no expuesta al ultrasonido, el aumento de sólidos solubles se produjo en el rango de 15 a 45 min, para, luego, disminuir a los 60 min. En todos los tiempos de exposición al ultrasonido, los contenidos de solidos solubles fueron mayores que los correspondientes de la muestra control. El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de exposición sobre el contenido de solidos solubles (Cuadro 2). La prueba de Tuckey indicó que el mejor tratamiento correspondió a 45 min de exposición al ultrasonido.

Los valores del contenido de sólidos solubles son mayores a los encontrados en pulpa de "guanábana" por Umme *et al.* (1997) y Laboren (1994). La tendencia de aumento del contenido de sólidos solubles también fue encontrado en pulpa de "mango" *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae), expuesta al ultrasonido de 45 kHz, a 15, 30, 45 y 60 min. Se considera que el incremento de los sólidos solubles es atribuible a la microevaporación del agua, generada en el sistema por el efecto de la cavitación (Porras *et al.*, 2011).

Acidez titulable

El valor de la acidez titulable de la pulpa de "chirimoya" aumentó (0,312 a 0,337% (ácido málico) conforme aumentó el tiempo de exposición al ultrasonido, en tanto que la muestra no expuesta mostró valores variables conforme aumentó el tiempo. El valor de la acidez titulable de la pulpa expuesta al ultrasonido, a los 15, 30 y 45 min, fue menor que el de la pulpa no expuesta al ultrasonido, pero, fue mayor a los 60 min. El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la acidez titulable de la pulpa de "chirimoya". La prueba de Tuckey indicó que el mejor tratamiento correspondió al tiempo de

exposición al ultrasonido de 30 min.

La misma tendencia, aunque con valores diferentes, se encontró en la pulpa de "aguaymanto" *Physalis peruviana* L. (Solanaceae), (Alayo, 2015) y en pulpa de "mango", con valores similares, expuestas al ultrasonido a 15, 30, 45 y 60 min. Los valores de la acidez titulable de la pulpa de "chirimoya" son ligeramente menores a los encontrados en la pulpa de "guanábana" *Annona muricata* L. (Ojeda de Rodríguez *et al.*, 2007).

pH

La pulpa de "chirimoya" es medianamente ácida. El rango de pH fue de 4,40 a 4,56 y de 4,33 a 4,38, en la pulpa no expuesta y expuesta al ultrasonido, respectivamente; similar al reportado por Machado *et al*. (1998), para "guanábana". El pH aumentó con el tiempo de 15 y 30 min de exposición al ultrasonido, pero disminuyó a 45 y 60 min. Esta tendencia fue similar en la pulpa no expuesta. El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el pH de la pulpa de "chirimoya". La prueba de Tuckey indicó que el mejor tratamiento correspondió a los 15 min. El pH, además de ser una medida de intensidad del sabor ácido de un producto, es muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos y en la actividad de sistemas enzimáticos (Medina & Pagano, 2003).

De acuerdo con Murray (1989), el tratamiento con ultrasonido afecta, entre otros, al pH. Hoover (2000) y Márquez *et al.* (2007) mencionan que el aumento del pH, inmediatamente después del tratamiento con ultrasonido, en comparación con la muestra control, puede deberse a la liberación de sustancias volátiles aromáticas durante la cavitación.

La misma tendencia, aunque con valores diferentes, se encontró en el jugo de "aguaymanto" (Alayo, 2015) y en pulpa de "mango", con valores similares, expuestas al ultrasonido a 15, 30, 45 y 60 min. Los valores de pH de la pulpa de "chirimoya" son ligeramente menores a los encontrados en la pulpa de "guanábana" (Ojeda de Rodríguez *et al.*, 2007).

El pH, además de ser una medida de intensidad del sabor ácido de un producto, es muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos y en la actividad de sistemas enzimáticos (Medina & Pagano 2003).

Propiedades reológicas

En el Cuadro 3, se muestra los valores promedio de las características reológicas. El valor de la viscosidad aparente aumento a los 15, 30 y 45 min de exposición al ultrasonido, para disminuir a los 60 min, hasta un valor menor que el de la pulpa no expuesta. El valor del esfuerzo de torque inicial de la pulpa expuesta al ultrasonido, en general, fue mayor que el de la pulpa no expuesta, pero la tendencia de aumento fue irregular. El valor del índice de comportamiento reológico disminuyó durante los tiempos de exposición al ultrasonido; sin embargo, mostró una tendencia de aumento regular, a los mismos tiempos de exposición. La pulpa de "chirimoya", expuesta al ultrasonido, presentó valores índices de comportamiento al flujo (n) menores que uno (0,544 – 0,586), lo que corresponde a un fluido seudoplástico; el índice de consistencia (k), en el intervalo de 2,036 a 3,070 P.sn, que guardan coherencia con la alta viscosidad de la pulpa. Similar comportamiento fue determinado por Vidal *et al.* (2004), en pulpa de "mango", y por Telis *et al.* (2003) en pulpa de "papaya". El análisis de varianza demostró efecto

significativo del tiempo de exposición al ultrasonido sobre todas las variables reológicas estudiadas; la prueba de Tuckey (95% de confiabilidad) indicó que el mejor tratamiento para la viscosidad, el esfuerzo de torque inicial, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia fue a 15, 30, 30 y 15 min, respectivamente.

Desde el punto de vista industrial, la relación entre el valor de la viscosidad y el esfuerzo de torque es un factor importante que influye en la facilidad del flujo y en el intercambio de calor, durante el procesamiento. Los fluidos con más baja viscosidad tienen más bajas pérdidas de cabeza, durante el flujo, lo que repercute en poca demanda de energía para el proceso (Haminiuk *et al*., 2006).

La reología de las pulpas y jugos tiene una gran importancia en la industria del procesamiento de frutas, incluyendo aplicaciones tecnológicas, sensoriales y de ingeniería, como, por ejemplo, proyectos de bombas, tuberías, intercambiadores de calor y tanques de mezclado (Torralles *et al*., 2006).

Recuento de mesófilos viables, mohos y levaduras

El recuento de microorganismos en la pulpa de "chirimoya" expuesta y no expuesta al ultrasonido se muestra en el Cuadro 4, en el que se observa que a los 45 min de exposición, todos los microrganismos habían sido eliminados.

El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de exposición al ultrasonido sobre el recuento de bacterias mesófilas viables, mohos y levaduras. La prueba de Tuckey indicó que el mejor tratamiento corresponde a los 45 min.

Muchas investigaciones se han realizado para entender el mecanismo interpretado por ultrasonido en la interrupción de microorganismos (Baumann *et al*., 2005; Bermúdez-Aguirre *et al*., 2009) que ha sido explicado por la cavitación acústica y sus efectos físicos, mecánicos y químicos que inactivan las bacterias y los grupos bacterianos desaglomerar o flóculos (Joyce *et al*., 2003). También, se ha demostrado, que la tasa de mortalidad es altamente dependiente de la frecuencia de ultrasonido, amplitud de la onda y el volumen de suspensión bacteriana.

Conclusión

El tiempo de exposición al ultrasonido, de 40 kHz, tiene efecto significativo sobre el contenido de sólidos solubles, acidez titulable, pH, viscosidad aparente, esfuerzo inicial al torque, índice de comportamiento reológico e índice de consistencia; así como también, en el recuento de mesófilos viables, mohos y levaduras, en pulpa de "chirimoya" *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae). La tecnología del ultrasonido es una alternativa importante en la conservación y elaboración productos beneficiosos para la alimentación del ser humano.

Agradecimientos

Fondo de Apoyo a la Investigación (FAIN) 2014 UPAO – Vicerrectorado de Investigación – Universidad Privada Antenor Orrego.

Literatura citada

Alayo Salcedo, M. J. 2015. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido en el contenido de vitamina C y propiedades fisicoquímicas en el jugo de "aguaymanto" (*Physalis peruviana* L.). Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniera en Industria Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Andrade, R. D.; R. Torres; E. J. Montes; O. A. Pérez; L. E. Restan & R. E. Peña. 2009. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de "níspero" (*Achras sapota* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ), 26:599-612.

AOAC. 1997. Association of Official Analytical Chemists–AOAC, Official Methods of Analysis, 16th ed, Arlington, Virginia.

Artés, F. & A. Allende. 2005. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf – life of minimally fresh processed leafy vegetables. Eur. J. Hort Sci, 70:231-245.

Baumann, A. R.; S. E. Martin & F. Hao. 2009. Removal of Listeria monocytogenes biofilms from stainless steel by use of ultrasound and ozone. Journal of Food Protection, 72 (6): 1306–1309.

Bermudez-Aguirre, D.; M. G. Corradini; R. Mawson & G. V. Barbosa-Canovas. 2009. Modeling the inactivation of Listeria innocua in raw whole milk treated under thermo-sonication. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 10 (2): 172–178.

Cameron, M.; L. D. McMaster & T. J. Britz. 2008. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry,15 (6): 960–964.

Covenin. 1979. Norma Venezolana 1315. Alimentos. Determinación del pH (acidez iónica). Ministerio de Fomento, Caracas, Venezuela.

Feng, H.; W. Yang & T. Hielscher. 2008. Power ultrasound. Food Science and Technology International, 14 (5): 433.

Fuentes Morillo, H. P. & A. N. Gavilánez Calero. 2012. Proyecto de factibilidad para la creación de una microempresa procesadora y comercializadora de pulpa de "chirimoya", para el distrito metropolitano de Quito, ubicada en la parroquia de Puellaro. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Comercial. Universidad Politécnica Salesiana de Quito. Ecuador.

Gallego-Juárez, J.; G. Rodriguez; V. Acosta & E. Riera. 2010. Power ultrasonic transducers with extensive radiators for industrial processing. Ultrasonics Sonochemistry, 17 (6): 953–964.

Haminiuk, C.; M. Sierakowsky; D. Izidoro & M. Masson. 2006. Rheological characterization of blackberry pulp. Braz. J. Food Technol, 9 (4): 229-296.

Hoover, D. 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologiers. Journal of Food Engineering, (35): 65-73.

INIAP. 2009. Aplicación de tecnologías agroindustriales para la el tratamiento de la "chirimoya". Boletín del Ministerio de Agricultura y Ganadería, N.° 248. Ecuador.

Joyce, E.; S. S. Phull; J. P. Lorimer & T. J. Mason. 2003. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. Ultrasonics Sonochemistry, 10 (6): 315–318.

Knorr, D.; A. Froehling; H. Jaeger; K. Reineke; O. Schlueter & K. Schoessler. 2011. Emerging technologies in food processing. Annual Review of Food Science and Technology, 2: 203–235.

Laboren, G. 1994. Resultados preliminares en el estudio de la calidad del fruto del "guanábano". Fonaiap Divulga, 45: 53–55.

Machado, C.; R. Martínez; M. Marín; D. Esparza & M. Sánchez. 1998. Influencia del tipo de propagación sobre la producción y calidad de los frutos de "guanábana" (*Annona muricata* L.) creciendo en el Centro Frutícola del estado Zulia. Informe. Investigación Agropecuaria. Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. Departamento de estadística, Maracaibo, 26 pp.

Márquez, C.; E. Otero & R. Cortes. 2007. Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos

y microestructurales del "tomate de árbol" (*Cyphromandra betacea* S. J.) en poscosecha. Vitae, (14): 133-139.

Medina, M. & F. Pagano. 2003. Caracterización de la pulpa de la "guayaba" (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". Rev. Fac. Agron. (LUZ) 20:72–86.

Murray, A. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. Journal Animal Science (69):347-355.

Ojeda de Rodríguez, G.; J. Coronado; R. Nava; B. Sulbarán; D. Araujo & L. Cabrera. 2007. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 41 (2): 151-160.

Piñero, M. 2000. Obtención de pulpas y jugo. Tesis de Maestría, Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, 73 pp.

Piyasena, P.; E. Mohareb & R. C. McKellar. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: A review. International Journal of Food Microbiology, 87 (3): 207–216.

Porras, O.; G. González; A. Castellanos; J. Ballesteros & M. Pacheco. 2011. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre la propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de "mango" (*Mangifera indica* L.) variedad común. Revista Alimentos Hoy, 20 (3):

Raso, J.; A. Palop; R. Pagan & S. Condon. 1998. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. Journal of Applied Microbiology, 85 (5): 849–854.

Telis, J.; L. Guizzo & V. Telis. 2003. Rheological properties of rehydrated "papaya". Braz. J. Food Technol., 6 (2): 221-227.

Torralles, R.; J. Vendruscolo & C. Vendruscolo. 2006. Reológia de purê homogeneizado de Pêssego: Efeito da temperatura e concentração. Braz. J. Food Technol. 9 (1): 8.

Umme, A.; B. Sabih; Y. Salmah; A. Junainah & B. Jamilah. 1997. Characteristics of soursop natural puree and determination of optimum conditions for pasteurization. Food Chem., 58:119–124.

Vidal, J.; D. Pelegrine & C. Gasparetto. 2004. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L. Keitt. Ciênc. Tecnol. Aliment., 24 (1):39-42.

ANEXO

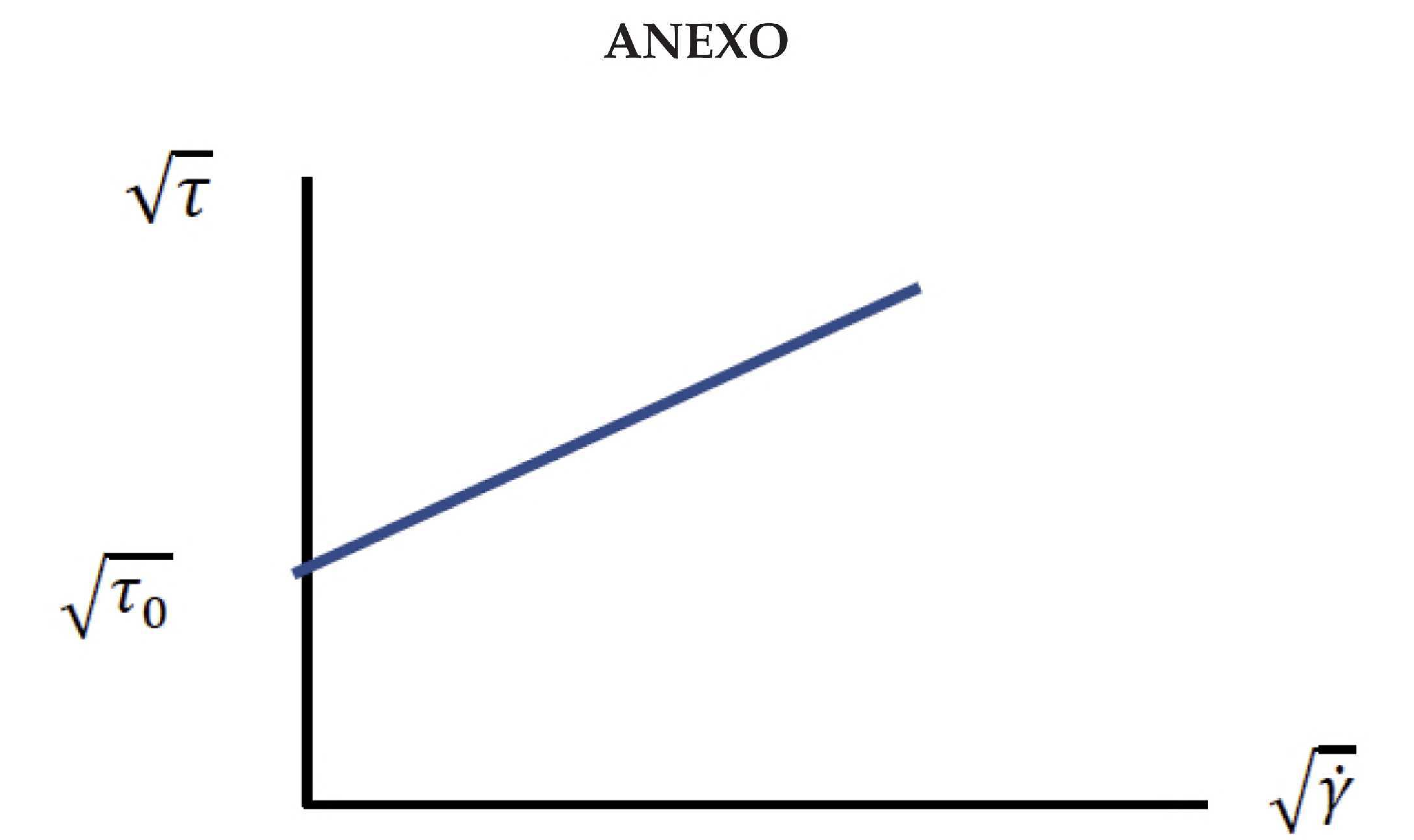


Fig. 1. Gráfica esfuerzo cortante ($\sqrt{\tau}$) vs. velocidad de deformación o cizalladura ($\sqrt{\dot{\gamma}}$) – Modelo de Casson

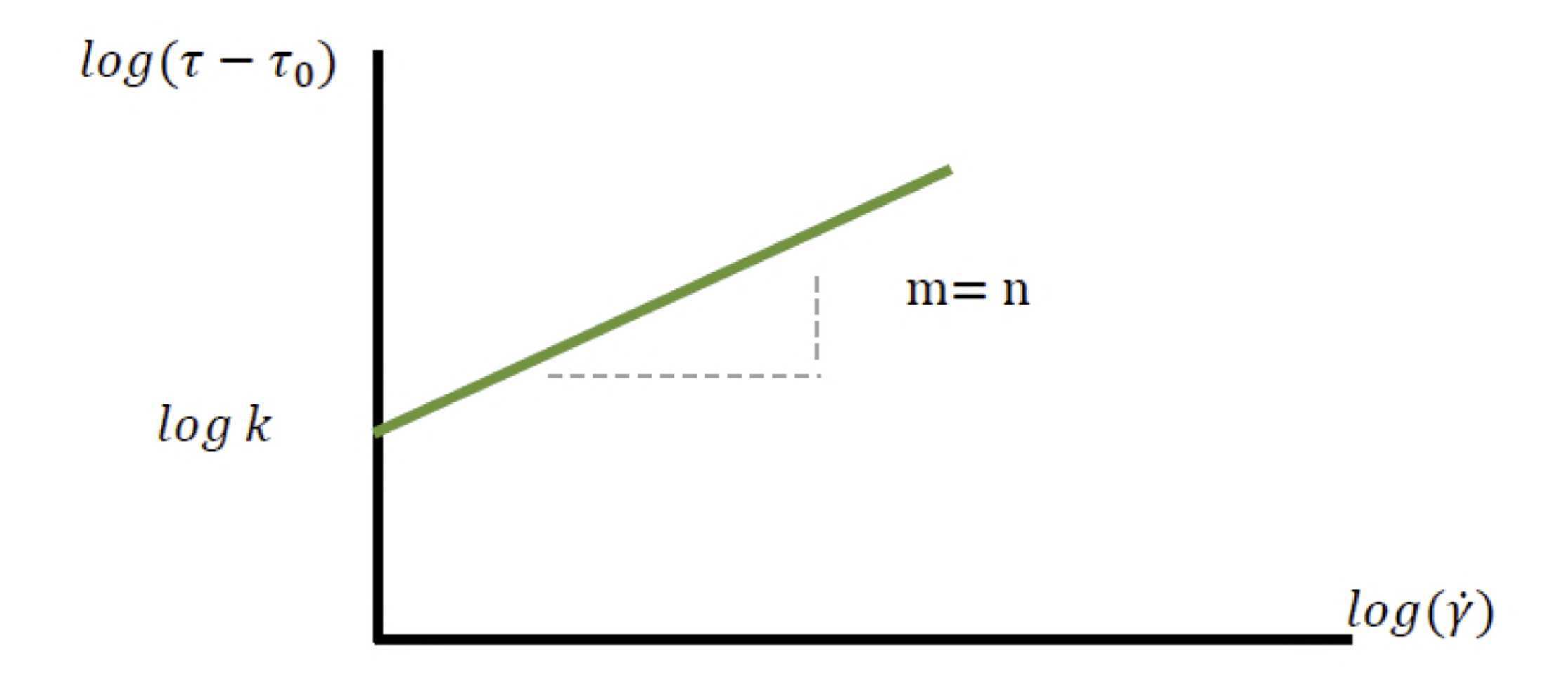


Fig. 2. Gráfica (- τ0) vs. log($\dot{\gamma}$)

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de la pulpa de "chirimoya" *A. cherimola* Mill.

Característica	No expuesta Tiempo (min)				Expuesta Tiempo (min)			
	15	30	45	60	15	30	45	60
Sólidos solubles (°B)	24,90	25,0	25,1	24,8	26,075	26,425	25,000	26,335
Acidez titulable (%ácido málico)	0,352	0,333	0,343	0,317	0,312	0,323	0,337	0,337
pH	4,40	4,55	4,46	4,40	4,37	4,38	4,34	4.33

Cuadro 2. Análisis de varianza para características fisicoquímicas en la pulpa de "chirimoya" *A. cherimola* Mill.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Sólidos solubles (°Brix)	Tiempo de exposición	7.815	4	1.954	68.956	0.000
	Error	0.425	15	0.028		
	Total	8.240	19			
Acidez titulable (%ácido málico)	Tiempo de exposición	0.003	4	0.001	11.893	0.000
	Error	0.001	15	0.000		
	Total	0.004	19			
pH	Tiempo de exposición	0.044	4	0.011	12.429	0.000
	Error	0.013	15	0.001		
	Total	0.057	19			

P < 0.05, existe efecto significativo.

Cuadro 3. Valores promedio de viscosidad aparente, esfuerzo de corte inicial, índice reológico, índice de consistencia de la pulpa de "chirimoya" *A. cherimola* Mill.

Tiempo de exposición (min)	Viscosidad, μ_a (mPa.s)	Esfuerzo de corte inicial, τ_0 (Pa)	Indice reológico, n	Indice de consistencia, k ($Pa.s^n$)
0	2013	36,1	0,635	2,401
15	2043	43,8	0,544	2,036
30	2083	36,1	0,579	3,070
45	2195	40,6	0,586	2,785
60	1959	38,6	0,584	2,187

Cuadro 4. Recuento de microorganismos en la pulpa de "chirimoya" *A. cherimola* Mill.

Tiempo de exposición (min)	Recuento de microorganismos (ufc/g)		
	Mesófilos viables	Hongos	Levaduras
0	2000	90	100
15	800	25	35
30	150	10	10
45	0	0	0
60	0	0	0



Fig. 3. ***Annona cherimola*** Mill. Frutas. (Fotografía: Cortesía S. Leiva, HAO)